

## ارزیابی کاربرد داده‌های متفاوت اقلیمی در اجرای مدل WEAP جهت برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل (مطالعه موردی حوضه کرخه)

مهدی وزیری<sup>۱</sup>، دکتر نوذر قهرمان<sup>۲\*</sup>، دکتر مجید خیاط خلقی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران  
<sup>۲</sup> دانشیار هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران  
<sup>۳</sup> استاد، منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۴

### چکیده

تبخیر و تعرق به عنوان فرآیند مهم چرخه آبشناسی، نقشی مهم در مطالعات اقلیم‌شناسی کشاورزی و برآوردهای نیاز آبی دارد. هدف این پژوهش، امکان‌سنجی استفاده از داده‌های اقلیمی دو پایگاه CFSR و CRU بجای داده‌های دیدبانی شده در جهت اجرای مدل (WEAP) و برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در حوضه کرخه بوده است. تبخیر و تعرق پتانسیل برآورد شده با داده‌های دیدبانی شده به روش پنمن - مانیت به عنوان معیار ارزیابی مقادیر برآورد مدل WEAP انتخاب شدند. شاخص‌های آماری  $R^2$ ، RMSE و NSE مابین تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده از مدل WEAP با داده‌های پایگاه‌های اقلیمی CFSR و CRU با تبخیر و تعرق پتانسیل بدست آمده از رابطه پنمن - مانیت با داده‌های مشاهداتی به ترتیب برابر ۰/۷۶، ۰/۹۸، ۰/۸۷، ۱/۰۸، ۰/۹۷ و ۰/۷۰ محاسبه شد که نشانگر بالاتر بودن دقت داده‌های پایگاه CFSR در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در سطح حوضه در مقایسه با داده‌های CRU می‌باشد. در مقایسه شاخص‌های آماری  $R^2$ ، RMSE و NSE مابین ایستگاه‌های واقع در حوضه، در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از خروجی‌های مدل WEAP با داده‌های دو پایگاه مطالعاتی و همچنین تبخیر و تعرق پتانسیل محاسباتی از رابطه پنمن - مانیت با داده‌های مشاهداتی، این شاخص‌ها برای ایستگاه هویزه با استفاده از داده‌های پایگاه CFSR به ترتیب برابر ۰/۴۴، ۰/۹۸ و ۰/۹۷ و ایستگاه هویزه با داده‌های پایگاه CRU به ترتیب ۱/۱۹، ۰/۹۹ و ۰/۸۰ بهترین عملکرد را از خود نشان دادند. بر مبنای روش پهنه بندی اقلیمی دومارتن گسترش یافته، عملکرد داده‌های این دو پایگاه در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در اقلیم‌های مدیترانه‌ای معتدل، نیمه خشک معتدل و مطلوب ارزیابی شد.

کلمات کلیدی: تبخیر و تعرق، حوضه کرخه، داده‌های اقلیمی، CRU، CFSR، WEAP

با رشد جمعیت و اقتصاد کشورها، انتظار می رود کشمکش ها بر سر موضوع بحران آبی مکرر و جدی تر شود. بر اساس تقسیم بندی سازمان ملل متحد، ایران نه تنها شرایط تنش و فشار ناشی از کمبود آب را تجربه خواهد کرد، بلکه وارد شرایط کمیابی شدید آب می گردد (امیر سعدالدین و همکاران، ۱۳۹۴). چرخه آبی فرآیندی است که طی آن آب بین اقیانوس ها، جو و خشکی در زمین به گردش در می آید (شامل بارش باران و برف، زهکشی در نهرها و رودخانه ها و سپس بازگشت به جو توسط تبخیر و تعرق) است. تبخیر و تعرق (ET) دومین کمیت بزرگ در چرخه آبی و یک شاخص مهم برای تغییرات اقلیمی است. پس برآوردهای دقیق و درک بهتر از میزان تبخیر و تعرق در مطالعات هیدرولوژیکی و مدل سازی منابع آب در شرایط آب و هوایی ثابت و متغیر امری ضروری است (گائو<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰). استفاده بهینه از منابع آب در بوم سامانه های کشاورزی نیمه خشک و خشک جهان به دلیل کاهش سریع منابع آب، توسعه صنعتی و افزایش جمعیت، شرایط خشکسالی و کاهش کیفیت آب های زیرزمینی و سطحی در بسیاری از مناطق اهمیت فزاینده ای یافته است. در بسیاری از موارد، تبخیر و تعرق (ET) که مجموع تعرق از طریق کانوبی گیاه و تبخیر از خاک، گیاه و سطح آب آزاد است، می تواند بزرگترین جزء چرخه هیدرولوژیکی را تشکیل دهد. تکنیک های بهبود یافته برای تعیین کمیت دقیق تبخیر و تعرق در مقیاس میدانی، حوضه آبخیز و منطقه ای برای افزایش استفاده کارآمد از منابع آب و حفاظت از محیط زیست و کیفیت آب مورد نیاز است. کمی سازی دقیق تبخیر و تعرق در تخصیص آب، مدیریت آبیاری، ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر عملکرد آب، ارزیابی زیست محیطی و توسعه بهترین شیوه های مدیریت برای حفاظت از کمیت و کیفیت آب های سطحی و زیرزمینی بسیار مهم است (ایرماک<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸). تبخیر و تعرق یکی از مهم ترین شارهای هیدرولوژیکی است که برای حفظ بیلان آب بوم سامانه های سطح زمین استفاده می شود. تعیین کمیت مطمئن و دقیق تغییرات در تبخیر و تعرق برای مدیریت مؤثر آبیاری، پیش بینی عملکرد محصول، ارزیابی زیست محیطی، مدل سازی بوم

سامانه ها و سیستم انرژی خورشیدی ضروری است (پتروپولوس<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). ارزیابی دقیق تبخیر و تعرق پتانسیل برای بسیاری از کاربردها از جمله برنامه ریزی آبیاری، پایش خشکسالی و درک اثرات تغییرات اقلیمی نیز مفید است (آلن<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). روش ها و مدل های متعددی جهت برآورد تبخیر و تعرق بعنوان یکی از اجزای اصلی چرخه ی آب میان سطح زمین و جو توسعه یافته اند. مجموعه این روش ها علاوه بر تفاوت در میزان تکامل و جزئیات دخیل، داده های متنوعی نیز نیاز دارند که کیفیت و دقت این داده ها بر درستی و قابلیت اعتماد برآوردهای تبخیر و تعرق نیز مؤثر است. پایگاه های داده اقلیمی متفاوتی توسعه یافته اند که ورودی مدل های شبیه سازی را تأمین می کنند که باید پاسخ مدل ها به ورودی های مشابه (از نظر ماهیت) ولی از منابع مختلف سنجیده شود. پایگاه های بازتحلیل شده اقلیمی مجموعه ای از داده های مشاهداتی را در خود جای داده اند که از سرتاسر زمین توسط ایستگاه های همدیدی و سایر ایستگاه ها به ثبت رسیده اند. البته برخی دیگر نیز با استفاده از تصاویر ماهواره ای نسبت به مدل سازی اقدام کرده اند. به عنوان مثال پایگاه بازتحلیل شده اقلیمی CRU<sup>۶</sup> علاوه بر قدرت مکانی بالا، دوره زمانی بلند مدت تری را نسبت به سایر داده های جهانی پوشش می دهد. این داده ها توسط دانشگاه East Anglia در انگلستان تهیه شده و در دسترس است. این پایگاه دارای نسخه های مختلفی است، در این پایگاه می توان بارش، تعداد روزهای مرطوب، میانگین دمای کمبنه، میانگین دمای بیشینه، پوشش ابر، تبخیر و تعرق پتانسیل و فشار بخار هوا برای سال های ۱۹۰۱ تا ۲۰۲۰ را در نسخه ۴/۰۵ آن یافت. از پایگاه های بازتحلیل شده اقلیمی دیگر می توان به پایگاه CFSR<sup>۷</sup> اشاره کرد این پایگاه توسط یکی از زیرشاخه های ناسا توسعه یافته است. این پایگاه داده های اقلیمی سال های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۴ میلادی را در خود جای داده است. این پایگاه اطلاعات مختلفی نظیر دما، بارش، فشار، رطوبت نسبی، سرعت باد و... را به دو صورت روزانه و ماهانه با دقت ۲/۵ در ۲/۵ درجه در اختیار قرار می دهد. در این پژوهش اجرای مدل WEAP<sup>۸</sup> با رویکرد استفاده از دو گروه

4. Petropoulos

5. Allen

6. Climatic Research Unit

7. Climate Forecast System Reanalysis

8. Water Evaluation And Planning system

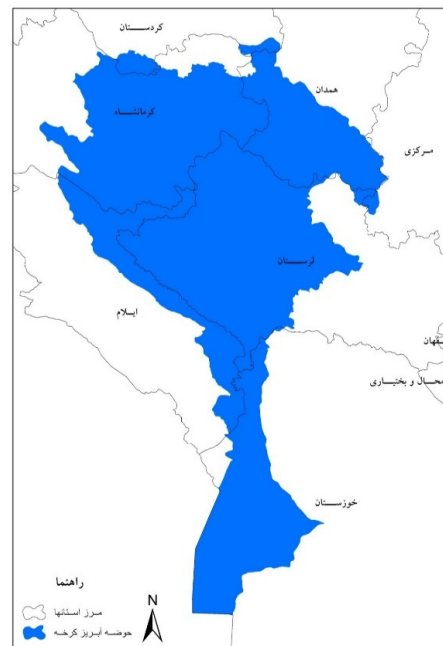
1. evapotranspiration

2. Gao

3. Irmak



شکل ۲. موقعیت حوضه کرخه در بین حوضه های مجاور



شکل ۱. موقعیت حوضه کرخه بر روی استان ها

داده های اقلیمی متفاوت پایگاه داده CFSR و CRU (شامل میانگین دمای ماهانه، میانگین بارش ماهانه، میانگین سرعت باد ماهانه، میانگین رطوبت نسبی ماهانه و تابش) بجای داده های دیدبانی شده ایستگاه های همدیدی واقع در حوضه کرخه مورد بررسی قرار گرفته است. در واقع هدف اصلی این پژوهش امکان سنجی اجرای مدل WEAP با منابع اقلیمی متفاوت (داده های غیر مشاهداتی) در صورت کمبود و فقدان داد های مشاهداتی است. در این مطالعه به علت نبود یک شاخص ارزیابی فیزیکی دقیق نظیر داده های لایسیمیتری و بیلان آب از رابطه پنمن مانیتیت به عنوان معادله ای با دقت قابل قبول در اکثر اقالیم استفاده شد.

حوضه کرخه در غرب کشور، در مناطق میانی و جنوبی زاگرس قرار دارد و دارای مساحتی بالغ بر ۵۰۷۶۸ کیلومترمربع است که حدود ۳۳۶۷۴ کیلومتر مربع آن در مناطق کوهستانی و مرتفع و حدود ۱۷۰۹۴ کیلومتر مربع آن را دشت ها و کوهپایه ها تشکیل می دهند از نظر مختصات جغرافیایی بین مجاور آن نشان داده شده است.

شکل ۲. موقعیت حوضه کرخه در بین حوضه های مجاور

### مواد و روش ها

#### منطقه مطالعاتی

حوضه کرخه در غرب کشور، در مناطق میانی و جنوبی زاگرس قرار دارد و دارای مساحتی بالغ بر ۵۰۷۶۸ کیلومترمربع است که حدود ۳۳۶۷۴ کیلومتر مربع آن در مناطق کوهستانی و مرتفع و حدود ۱۷۰۹۴ کیلومتر مربع آن را دشت ها و کوهپایه ها تشکیل می دهند از نظر مختصات جغرافیایی بین مجاور آن نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی در سیستم طبقه بندی دومارتن گسترش یافته

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)	اقلیم
اسلام آباد	۴۶/۵۳۳	۳۴/۱۱۳	۱۳۳۵	نیمه خشک معتدل
کرمانشاه	۴۷/۰۷۹	۳۴/۳۲۶	۱۳۵۰	نیمه خشک معتدل
نهبوند	۴۸/۳۸۷	۳۴/۱۸۷	۱۶۶۷	مدیترانه ای معتدل
خرم آباد	۴۸/۳۴۳	۳۳/۴۵۷	۱۱۴۷	مدیترانه ای معتدل
کوهدشت	۴۷/۵۸۹	۳۳/۵۳۹	۱۱۹۵	نیمه خشک معتدل
پلدختر	۴۷/۷۱۸	۳۳/۱۴۴	۷۱۰	نیمه خشک معتدل
روانسر	۴۶/۶۵۷	۳۴/۷۱۶	۱۳۶۲	مدیترانه ای سرد
سرآبله	۴۶/۵۶۹	۳۳/۷۷۵	۱۰۵۰	نیمه خشک معتدل
شوش	۴۸/۲۴۸	۳۲/۲۰۱	۷۰	خشک بیابانی معتدل
هویزه	۴۸/۰۸۱	۳۱/۴۵۴	۱۰	خشک بیابانی معتدل
هرسین	۴۷/۵۸۲	۳۴/۲۵۷	۲۷۴۹	نیمه خشک معتدل
ملایر	۴۸/۸۱۲	۳۴/۲۸۹	۱۷۲۵	نیمه خشک معتدل

پایه، تغذیه طبیعی آب‌های زیرزمینی، تحلیل نیازها، برآورد میزان تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل، ذخیره آب، حقایقها و اولویت‌های تخصیص، بهره‌برداری از مخازن، تولید برقایی، روندیابی آلودگی و کیفیت آب، ارزیابی آسیب پذیری و نیازهای اکوسیستم اشاره کرد.

#### داده های پایگاه های اقلیمی

#### پایگاه داده های اقلیمی CRU

در این پژوهش از نسخه ۴/۰۵ پایگاه داده های اقلیمی CRU، استفاده شده است که شامل داده های مربوط به رطوبت نسبی ماهانه، مجموع بارش ماهانه و میانگین دمای ماهانه است اما این نسخه فاقد داده های مربوط به سرعت باد جهت استفاده در مدل WEAP می باشد لذا داده های مربوط به سرعت باد از نسخه ۲ آن برای سال های میلادی ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰ دریافت شد. شمار ایستگاه های مورد استفاده در این پایگاه متغیر بوده بطوریکه برای سال های اولیه این داده ها یعنی سال ۱۹۰۱ شمار ایستگاه هایی که در تولید این پایگاه داده به کار رفته اند ۴۹۵۷ ایستگاه و در سال ۱۹۸۱ به ۱۴۵۷۲ ایستگاه افزایش یافته است. نسخه CRU TS V.4.05 در ۱۳ مارس ۲۰۱۷ میلادی انتشار یافته است. این نسخه از سال ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۵ میلادی را پوشش می دهد. همچنین این نسخه در مقیاس مکانی ۰/۵ درجه از ۸۰ درجه شمالی تا ۶۰

مشخصات و اقلیم شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی طبق پهنه بندی اقلیمی دومارتن گسترش یافته در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است.

#### داده های مشاهداتی

داده های مشاهداتی مربوط به ایستگاه های همدیدی منتخب در سطح حوضه کرخه از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۹ میلادی شامل: میانگین ماهانه دمای کمینه و بیشینه، تابش، بارش و سرعت باد به عنوان داده های ورودی به مدل جهت محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل به عنوان معیار ارزیابی مدل WEAP از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. تمامی اقلیم های تعیین شده در جدول ۱ بر اساس تقسیم بندی اقلیمی ایران در روش طبقه بندی دومارتن گسترش داده شده می باشند. (خلیلی و همکاران ۱۴۰۰) این طبقه بندی بر اساس تقاطع سه نقشه هم بارش سالانه، هم دمای سالانه و هم دمای میانگین کمینه روزانه در سردترین ماه سال محاسبه و طراحی شده است.

#### نرم افزار مدیریت یکپارچه منابع آب WEAP

WEAP یک برنامه مدیریت منابع آب است که یکی از نیازهای تعریف شده در برنامه تبخیر و تعرق می باشد. این نرم افزار قادر به شبیه سازی طیف وسیعی از مولفه های طبیعی است از جمله این مولفه ها می توان به رواناب، دبی

سطحی جفت شده با وضوح تقریبی ۳۸ کیلومتر می باشند به طوری که دارای درون‌یابی‌های مکانی و زمانی مختلف است. CFSR داده‌های رصدی را از سطح، بالون‌های جو فوقانی، هواپیماها و ماهواره‌ها به منظور نمایش فعل و انفعالات جهانی جو زمین، زمین و اقیانوس‌ها دریافت می کند. تجزیه و تحلیل مجدد داده‌های ساعتی را با وضوح مکانی تا نیم درجه در اطراف سطح زمین ارائه می دهد و چهار بار در روز در فواصل زمانی ۶ ساعته خالی می شود و سپس این داده‌های ساعتی را می توان به سایر مراحل زمانی مورد نظر، روزانه، ماهانه و سالانه تبدیل کرد. این تحقیق از داده‌های میانگین ماهانه دما، بارش، سرعت باد و رطوبت نسبی پایگاه داده‌های بازتحلیل شده اقلیمی CFSR برای دوره آماری ۲۰۱۳-۱۹۹۴ میلادی پس از انجام بررسی همگنی و عدم وجود خلاء آماری در نرم افزار<sup>۹</sup> SPSS استفاده شده است. قالب این داده‌ها به صورت پیش فرض NetCDF است که با استفاده از نرم افزارهای مختلف نظیر Arcmap قابل استخراج کردن داده هستند.

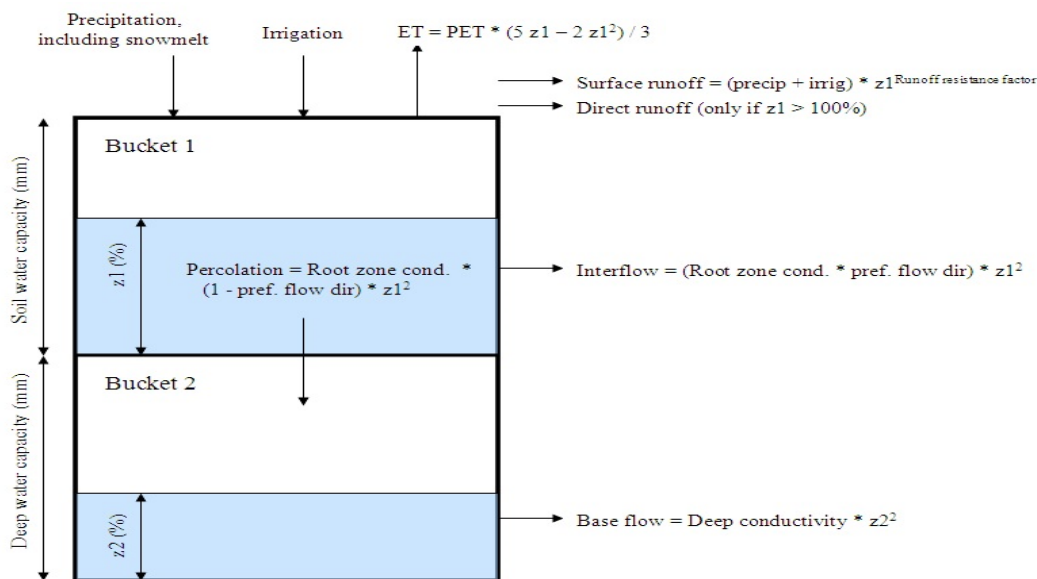
#### محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل با روش فائو-پنمن-مانتیت

یکی از معادلاتی که به صورت تئوری بر اساس توازن انرژی روی یک سطح مرطوب پوشیده از گیاه ارائه گردیده است معادله موسوم به فائو- پنمن- مانیتیت می باشد. این معادله به عنوان معتبرترین روشی که می تواند نیاز آبی گیاه را به صورت واقعی تر تخمین بزند توسط کارشناسان سازمان فائو مورد اصلاح قرار گرفت و با در نظر گرفتن یک گیاه فرضی به ارتفاع ۰/۱۲ متر و مقاومت روزنه ای ۷۰ ثانیه بر متر و ضریب بازتاب ۰/۲۳ با این فرض که شاخص سطح برگ آن ۲۴ برابر ارتفاع گیاه باشد معادله ای به نام فائو- پنمن- مانیتیت ارائه گردید که در حال حاضر اساس محاسبات نیاز آبی می باشد. هرچند که این گیاه با چمن شباهت زیادی دارد اما نباید آن را چمن در نظر گرفت. معادله فائو- پنمن- مانیتیت به صورت معادله ۱ ارائه شده است. تبخیر و تعرق مرجع تقریباً معادل تبخیر و تعرق پتانسیل برای یک پوشش گیاهی بخصوص چمن یا یونجه است، در اینجا برای تبدیل تبخیر و تعرق مرجع به تبخیر و تعرق پتانسیل در سطحی غیر از چمن، تبخیر و تعرق

درجه جنوبی سطح زمین را پوشش می دهد. در این پایگاه می توان داده‌های مربوط به ده متغیر شامل بارندگی، میانگین دما، محدوده دمایی روزانه، دمای کمینه و بیشینه، فشار بخار، پوشش ابر، روزهای بارانی، روزهای یخبندان و تبخیر و تعرق پتانسیل را می توان یافت. این داده‌ها از مجموعه داده‌های پایگانی سوابق ایستگاه‌های اقلیمی که در معرض اقدامات کنترل کیفی دستی و نیمه خودکار قرار گرفته اند، مشتق شده است که مقادیر با کیفیت ضعیف یا مشکوک حذف شده اند. در این پایگاه متغیرهایی با پوشش مشاهده‌ای کمتر (متغیرهای ثانویه، مانند فشار بخار) با داده‌های مصنوعی که به‌طور الگوریتمی از متغیرهای اولیه به دست می‌آیند، افزوده می‌شوند. همچنین روزهای یخبندان و تبخیر و تعرق پتانسیل بر خلاف اندازه‌گیری‌های مستقیم، کاملاً از متغیرهای دیگر مشتق شده‌اند. داده‌های این پایگاه برای دوره سال‌های ۱۹۶۱ به بعد از دقت بالاتری برخوردار است زیرا تراکم ایستگاه‌ها در دوره قبل از ۱۹۶۱ کمتر بوده است. مجموعه داده‌های CRU TS با استفاده از روش ناهنجاری اقلیمی ساخته شده اند. رویکرد ناهنجاری به این دلیل اتخاذ شد که شبکه نرمال ایستگاه‌ها بسیار جامع تر از شبکه سری‌های زمانی ایستگاه‌ها است. بنابراین، برای اینکه در عملیات شبکه‌بندی گنجانده شود، هر سری ایستگاه باید داده‌های کافی برای میانگین دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) یا نرمال را دارا باشد.

#### پایگاه داده‌های اقلیمی CFSR

مجموعه داده‌های تحلیل سیستم پیش بینی آب و هوا (CFSR) دوره ۱۹۷۹-۲۰۱۴ را در بر می‌گیرد. این پایگاه یک محصول تحلیل مجدد نسل سوم است. که یک پایگاه با وضوح بالا و جفت شده با مدل‌های جو- اقیانوس- زمین- سطح- دریا است که برای ارائه بهترین تخمین از وضعیت حوضه‌ها در یک دوره خاص طراحی شده است. مدل اتمسفری CFSR شامل تغییرات مشاهده شده در دی اکسید کربن، همراه با تغییرات در ذرات معلق در هوا و دیگر گازهای کمیاب و تغییرات خورشیدی است. داده‌های این پایگاه شامل بارش روزانه، کمینه و بیشینه دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و داده‌های تابش خورشیدی است. داده‌های CFSR با اجزای جوی، اقیانوسی و مدل‌سازی



شکل ۴. نمودار مفهومی و معادلات مورد استفاده در مدل رطوبت خاک (راهنمای مدل WEAP)

تغییر در رطوبت خاک در لایه ی دوم شبیه سازی می شود. متناظراً این روش برای شبیه سازی فرایند به پارامترهای گسترده تری از خاک و آب و هوا نیاز دارد. این روش یک روش بارش-رواناب قوی محسوب می شود که در شکل ۴ نمای خاک نشان داده شده است.

در شکل ۴ هر فلش نشانگر ورودی و خروجی ها به لایه خاک می باشند. در این شکل:

- ET ، تبخیر و تعرق واقعی
- PET ، تبخیر و تعرق پتانسیل
- Base flow ، جریان پایه
- Irrigation ، آبیاری
- Precipitation including snow melt ، بارش شامل ذوب برف
- Surface runoff ، رواناب سطحی
- Direct runoff ، رواناب مستقیم
- Percolation ، نفوذ
- Interflow ، جریان نشت از لایه ۱
- Bucket1 ، لایه اول خاک
- Bucket2 ، لایه دوم خاک
- Deep Conductivity ، مقدار هدایت هیدرولیکی

مرجع را در ضریب سطوح ( $K_c$ ) ضرب شده تا به تبخیر و تعرق پتانسیل تبدیل شود. ۰۰

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left[ \frac{890}{T + 273} \right] U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \times K_c \quad (1)$$

در معادله ۱  $e_s$  فشار بخار اشباع در دمای T بر حسب کیلو پاسکال (kPa) و  $e_a$  فشار بخار در دمای T بر حسب کیلو پاسکال ،  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع دو متری،  $R_n$  تابش خالص، و  $G$  شار گرمای خاک می باشد.

#### روش رطوبت خاک<sup>۱۰</sup> در مدل WEAP

روش رطوبت خاک برای مدل سازی ساده و در عین حال واقعی روند هیدرولوژیکی با یک مدل نیمه فیزیکی توسعه داده شده است. این روش حوضه را با دولایه خاک معرفی می کند. در لایه خاک بالایی با در نظر گرفتن بارش، آبیاری در بخش های کشاورزی و غیر کشاورزی، رواناب و همچنین تغییر در رطوبت خاک تبخیر و تعرق را شبیه سازی می کند. این روش مشخصات کاربری اراضی و نوع خاک را در پروسه شبیه سازی دخالت می دهد. مسیریابی جریان پایه و همچنین

10. soil moisture

جدول ۲. ضرایب  $K_c$  برای سطوح مختلف (آلن<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۸)

عارضه	ضریب $K_c$
درختچه ها (shrubs)	۰/۸۵
جنگل های درختان خزان دار (deciduous forest)	۰/۹۱
مراتع و چمن زار ها (grassland)	۰/۷۵
مناطق کشاورزی (agriculture)	۰/۹۵
مناطق بایر و یا با پوشش گیاهی پراکنده (barren fields)	۰/۳
مناطق شهری (urban lands)	۰/۱۵
زمین های باتلاقی و آب های آزاد (wet-land)	۱/۲

<sup>۱</sup> Allen

۰/۱۲ متر با مقاومت سطحی ۶۹ ثانیه بر متر اصلاح شده است. در این پیاده سازی دو تغییر در معادله انجام شده است: آلبیدو در محدوده ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ به عنوان تابعی از پوشش برف تغییر می کند (اگر چه کاربر می تواند این محاسبه را نادیده بگیرد و آلبیدو را مستقیماً مشخص کند)، و عبارت شار گرمایی خاک،  $G$  نادیده گرفته شده است. این معادله به صورت معادله ۲ بیان شده است.

$$ET_o = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} \frac{900}{T + 275} U_2 D \quad (2)$$

که در آن  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار اشباع ( $kPa/^\circ C$ ) است که طبق معادله ۳ محاسبه می شود،  $R_n$  تابش خالص بر حسب میلیمتر بر روز،  $T$  دما بر حسب درجه سلسیوس،  $G$  شار حرارتی اندازه گیری شده یا تخمین زده شده خاک بر حسب میلیمتر بر روز،  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر حسب متر بر ثانیه،  $D$  کمبود فشار بخار بر حسب کیلو پاسکال و  $\gamma$  ضریب سایکرومتری بر حسب کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس می باشد.

$$\Delta = \frac{4098 e_s}{(237.3 + T)^2} \quad (3)$$

که در آن  $e_s$  فشار بخار اشباع در دمای  $T$  است و بر حسب کیلو پاسکال می باشد.

$$\gamma^* = \gamma (1 + 0.33 U_2) \quad (4)$$

که در آن  $\gamma^*$  ضریب سایکرومتری مخصوص می باشد.

(طول بر زمان) مربوط به لایه دوم (عمیق) است. این ضریب مقدار گذردهی لایه زیرین را مشخص می کند و برای تمام حوضه به صورت ثابت است و بر اساس کاربری تغییر نمی کند. Runoff Resistance Factor، ضریب مقاومت جریان، رواناب تمایل به کاهش با مقادیر بالاتر از این ضریب را دارد (مقادیر بین ۰/۱ تا ۱۰) به عبارت دیگر این ضریب با مقدار رواناب رابطه عکس دارد.

Root Zone Conductivity، میزان هدایت هیدرولیکی محدوده ریشه در حالت اشباع (زمانی که  $Z1$  برابر ۱ است) را بیان می کند.

Preferred Flow Direction، مسیر جریان را مشخص می کند. عدد ۱ به معنی کاملاً افقی و عدد ۰ به معنی کاملاً عمودی است.

$Z1$ ، میزان درصد اشباع عمق لایه اول است.

$Z2$ ، درصدی از ذخیره کل لایه دوم است.

Soil Water Capacity، مقدار ظرفیت نگهداری آب در لایه بالایی خاک را مشخص می کند. این مقدار بر اساس میلیمتر است.

Deep Water Capacity، مقدار ظرفیت نگهداری آب در لایه پایینی خاک را نشان می دهد. این مقدار بر اساس میلیمتر بیان می شود و برای تمام حوضه یک مقدار واحد است و با تغییر در کاربری تغییر نمی کند.

در محاسبه ی تبخیر و تعرق پتانسیل در مدل WEAP از فرمول ارائه شده در کتاب راهنمای هیدرولوژی (۱۹۹۳) در بخش ۴،۱۵، معادله ۴،۲،۳۱ استفاده شده است. این فرمول همان فرمول پنمن - مانیتث برای گیاه استاندارد چمن با ارتفاع



$RMSE^{12}$ : که از آن به عنوان خطای  $RMSE$  نیز یاد می کنند، به معنی میانگین مربع خطاها می باشد.  $RMSE$  میزان خطای بین دو مجموعه داده را اندازه گیری می کند. که در واقع میزان خطای مطلق را نشان می دهد. میزان  $RMSE$  نشان دهنده میانگینی از خطاهای موجود است و زمانی که هدف ما بررسی دقت کل داده ها باشد، می توان از آن به عنوان یک شاخص اصلی استفاده کرد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n}} \quad (6)$$

$R^2$ <sup>13</sup>: ضریب تعیین یا ضریب تشخیص، نسبت تغییرات متغیر وابسته را که می توان به متغیر مستقل نسبت داد اندازه گیری می کند. به بیان ساده می توان گفت ضریب تعیین نشان می دهد که چند درصد تغییرات متغیرهای وابسته در یک مدل رگرسیونی با متغیر مستقل تبیین می شود.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})(p_i - \bar{p})]^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2 \times \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2} \quad (7)$$

در معادلات ۶ و ۷؛  $O_i$  مقادیر اندازه گیری شده (مقادیر مشاهداتی)،  $p_i$  مقادیر محاسبه شده مدل،  $n$  تعداد مشاهدات،  $\bar{O}$  میانگین مقادیر اندازه گیری شده (مقادیر مشاهداتی) و  $\bar{P}$  میانگین مقادیر محاسبه شده است.

$NSE$ <sup>14</sup>: ضریب ناش-ساتکلیف ضریبی است که اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده را نشان می دهد. در این مطالعه جهت ارزیابی نتایج شبیه سازی شده و داده های مشاهداتی در دوره آماری انتخابی از این ضریب نیز استفاده شده است که در معادله ۸ نشان داده شده است.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i (ETO_{m,i} - ETO_s)^2}{\sum_i (ETO_{m,i} - ETO_m)^2} \quad (8)$$

که در آن  $ETO_m$  میانگین تبخیر تعرق پتانسیل دوره مشاهداتی،  $ETO_{m,i}$  مقادیر تبخیر تعرق پتانسیل مشاهداتی،  $ETO_s$  مقادیر تبخیر تعرق پتانسیل محاسباتی. اگر میزان این

پس از محاسبه تبخیر و تعرق گیاه استاندارد پنمن-مانتیت که پتانسیل تبخیر تعرق (PET) نامگذاری شده است، مدل WEAP با استفاده از معادله ۵ تبخیر و تعرق پتانسیل را محاسبه می کند.

$$ET_{potential} = PET \times K_c \quad (5)$$

که در آن  $ET_{potential}$  تبخیر و تعرق پتانسیل می باشد و  $K_c$  ضریب سطح محسوب می شود که این ضریب برای سطوح با کاربری اراضی متفاوت به شرح جدول ۲ می باشد.

الگوی ترسیمی حوضه کرخه و زیرحوضه ها در مدل WEAP هنگامی که یک حوضه در مدل WEAP ایجاد می شود، WEAP به طور خودکار یک شیء رودخانه ای (خط آبی) را بر اساس مسیر عبور از حوضه با بیشترین مقدار جریان ایجاد می کند که مسیر جریان از سمت بالادست به پایین دست (نقطه خروجی حوضه) حوضه است. این حالت می تواند نوع پوشش اراضی را هم تعیین کند به گونه ای که مدل داده های کاربری اراضی را از پایگاه تغییر اقلیم آژانس فضایی اروپا (ESA-CCI-LC<sup>11</sup>) دریافت می کند. همچنین WEAP دسترسی به مجموعه داده های آب و هوایی شبکه بندی شده جهانی، شامل داده های دما، بارندگی و سرعت باد را در بازه های زمانی روزانه و ماهانه برای سال های ۲۰۱۰-۱۹۴۸ با وضوح فضایی ۰/۲۵ درجه (تقریباً ۲۸ کیلومتر) را فراهم می کند. این مجموعه داده آب و هوای جهانی توسط گروه هیدرولوژی زمینی در دانشگاه پرینستون که داده های تحلیل مجدد را با مشاهدات ترکیب می کند ایجاد شده است. الگوی ترسیمی حوضه کرخه و زیر حوضه ها در مدل WEAP به صورت اشکال ۵ و ۶ می باشد.

#### آزمون های آماری

برای ارزیابی کردن مدل از شاخص های آماری زیر استفاده شده است.

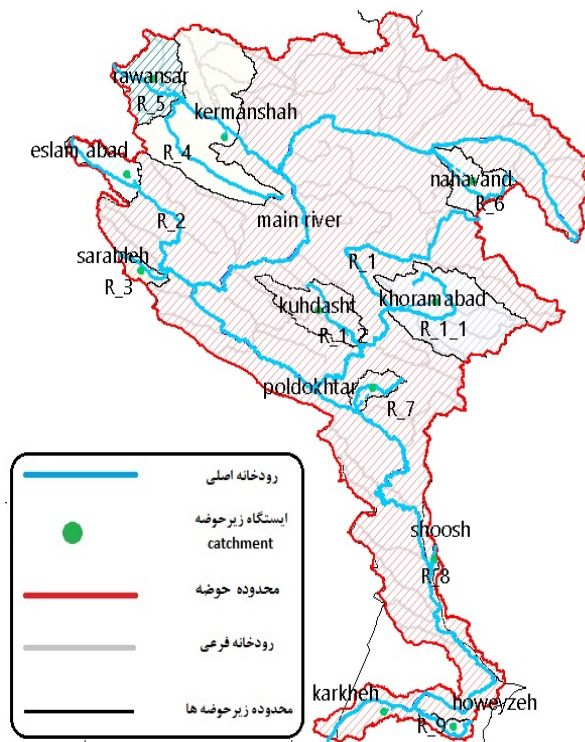
12. Root Mean Square Error

13. R-squared correlation

14. Nash Sutcliffe Error

11. European Space Agency's Climate Change Initiative Land Cover





شکل ۵. حوضه کرخه و زیرحوضه های مرتبط با هر ایستگاه در مدل WEAP برای داده های پایگاه اقلیمی CRU

میزان تبخیر و تعرق پتانسیل برای کل حوضه کرخه حاصل میانگین کل ایستگاه های واقع در حوضه در نظر گرفته شده است. تمامی اعداد بدست آمده از معادله پنمن-مانتیت بر حسب میلیمتر در روز و اعداد بدست آمده از مدل WEAP بر حسب میلیمتر در ماه می باشند. بیشترین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل مشاهداتی و خروجی مدل WEAP با داده های پایگاه های اقلیمی CFSR و CRU مربوط به ماه میلادی جولای و کمترین مربوط به ماه ژانویه می باشد.

با توجه به اعداد بدست آمده از تحلیل های آماری مربوط به هر یک از شاخص های RMSE،  $R^2$  و NSE برای هر یک از ایستگاه ها در مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل بدست آمده از مدل WEAP با داده های پایگاه اقلیمی CFSR و تبخیر و تعرق بدست آمده از معادله پنمن-مانتیت با داده های مشاهداتی، ایستگاه هویزه با کمترین مقدار  $RMSE(44)$  و همچنین  $R^2$  نزدیک به ۱ ( $R^2 = 0.98$ ) و همچنین ضریب ناش ساتکلیف  $NSE = 0.97$  بیشترین تشابه به میزان مشاهداتی را داشت همچنین این ایستگاه با توجه به

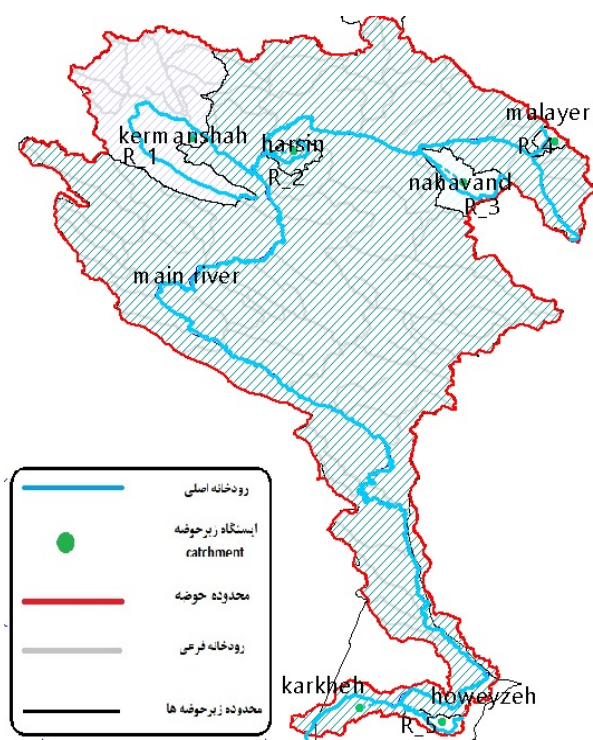
ضریب بین ۰/۷۵ تا ۱ باشد عملکرد بسیار خوب، مابین ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ عملکرد خوب، مابین ۰/۵ تا ۰/۶۵ عملکرد رضایت بخش و کمتر از ۰/۵ عملکرد غیرقابل قبول می باشد (کولت<sup>۱۵</sup> و همکاران ۲۰۱۴).

### نتایج و بحث

#### تبخیر و تعرق

نتایج تبخیر و تعرق پتانسیل بدست آمده توسط معادله پنمن-مانتیت در شبکه ایستگاه های همدیدی واقع در حوضه کرخه در جدول ۳ آورده شده است. لازم به ذکر است که اعداد بدست آمده برای هر ایستگاه به عنوان تبخیر و تعرق پتانسیل مشاهداتی معیاری برای سنجش و مقایسه تبخیر و تعرق های پتانسیل بدست آمده از مدل WEAP با داده های پایگاه های اقلیمی CFSR و CRU قرار گرفته است. مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل خروجی از مدل WEAP با داده های پایگاه های اقلیمی CFSR و CRU نیز در جداول ۵ و ۷ آورده شده است.

15. Kult



شکل ۶. حوضه کرخه و زیرحوضه های مرتبط با هر ایستگاه در مدل WEAP برای داده های پایگاه اقلیمی CFSR

گرفته است پس می توان گفت دقت داده های پایگاه اقلیمی CRU در مناطقی با اقلیم خشک بیابانی معتدل در محاسبه تبخیرتغرق پتانسیل مناسب است. همچنین آزمون های آماری انجام شده دقت داده های این پایگاه را در ایستگاه های سرآبله، نهاوند و کوهدشت با اقلیم های نیمه خشک معتدل و مدیترانه ای معتدل بالا ارزیابی کردند. در مطالعه ای پدرو<sup>۱۶</sup> و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه بر روی حوضه سائوفرانسیسکو<sup>۱۷</sup> برزیل که یک سیستم هیدرولوژیکی مهم در برزیل بشمار می رود و در اقلیم نیمه خشک برزیل نیز واقع شده است، دقت داده های پایگاه اقلیمی CRU در برآورد میزان تبخیروتغرق پتانسیل در این منطقه را مناسب ارزیابی کردند همچنین اخوان و دلاور (۱۳۹۵) دریافتند که داده های پایگاه CFSR در بازه زمانی کوتاه تر (ماهانه و سالانه) دارای آماره های خطاسنجی کمتر و همبستگی بیشتری با داده های مشاهداتی دارد. ایروم<sup>۱۸</sup> و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از داده های پایگاه

پهنه بندی اقلیمی دوما رتن گسترش یافته در اقلیم خشک بیابانی معتدل قرار گرفته است که نشان می دهد داده های این پایگاه در مناطقی با اقلیم های خشک بیابانی معتدل در محاسبه تبخیرتغرق پتانسیل از دقت بالایی برخوردار هستند، همچنین تحلیل های آماری در ایستگاه های دیگر از جمله ملایر، نهاوند، هرسین و کرمانشاه نیز با اقلیم های نیمه خشک معتدل و مدیترانه ای معتدل نشان دهنده دقت بالای داده های این پایگاه در این اقلیم است. با توجه به اعداد بدست آمده از تحلیل های آماری مربوط به هر یک از شاخص های  $RMSE$ ،  $R^2$  و  $NSE$  برای هر یک از ایستگاه ها در مقایسه تبخیروتغرق پتانسیل بدست آمده از مدل WEAP با داده های پایگاه اقلیمی CRU و تبخیروتغرق بدست آمده از معادله پنمن-مانتیت با داده های مشاهداتی، ایستگاه هویزه با کمترین مقدار  $RMSE$  ( $RMSE = 1/19$ ) و ضریب  $R^2$  نزدیک به ۱ ( $R^2 = 0/99$ ) و همچنین ضریب ناش ساتکلیف  $NSE = 0/80$  بیشترین تشابه به میزان مشاهداتی را داشت. این ایستگاه نیز در پهنه اقلیمی خشک بیابانی معتدل قرار

16. Pedro

17. São Francisco

18. Irvem

جدول ۳. مقادیر تبخیر تعرق پتانسیل بدست آمده از معادله پنمن،مانتیت با استفاده از داده های مشاهداتی (میلیمتر در روز)

ماه	الشر	بستان	اسلامآباد	کنگاور	کرمانشاه	کوهدهشت	نهادند	پلدختر	روانسر	خرمآباد
Jan	۱/۴	۲/۹	۱/۹	۲/۱	۲/۰	۰/۷	۱/۵	۳/۷	۲/۱	۲/۷
Feb	۱/۱	۳/۵	۱/۸	۲/۱	۲/۰	۰/۹	۱/۴	۳/۸	۲/۱	۲/۷
Mar	۲/۴	۵/۵	۳/۳	۴/۲	۴/۸	۲/۵	۲/۷	۷/۴	۴/۲	۴/۰
Apr	۲/۹	۸/۵	۷/۵	۴/۹	۴/۶	۳/۰	۳/۳	۷/۹	۵/۰	۵/۹
May	۳/۸	۱۱/۸	۴/۹	۶/۶	۶/۹	۸/۱	۴/۳	۱۱/۹	۷/۳	۸/۶
Jun	۵/۳	۱۵/۲	۸/۹	۹/۰	۱۰/۸	۱۰/۴	۵/۹	۱۶/۴	۱۲/۱	۱۲/۳
Jul	۶/۹	۱۴/۹	۱۱/۲	۱۰/۸	۱۳/۲	۷/۸	۷/۴	۱۶/۶	۱۲/۹	۱۳/۶
Aug	۶/۱	۱۲/۹	۱۰/۴	۹/۸	۱۱/۸	۶/۹	۶/۷	۱۶/۴	۱۳/۴	۱۲/۸
Sep	۵/۰	۱۱/۴	۱۰/۳	۷/۹	۸/۹	۳/۳	۵/۱	۱۳/۰	۹/۷	۱۰/۹
Oct	۳/۱	۶/۶	۵/۵	۵/۴	۵/۸	۲/۵	۳/۳	۷/۸	۵/۵	۶/۰
Nov	۱/۷	۴/۲	۲/۷	۲/۶	۲/۹	۱/۴	۲/۱	۵/۰	۲/۶	۳/۶
Dec	۱/۲	۲/۹	۲/۴	۲/۰	۱/۹	۰/۹	۱/۵	۳/۴	۱/۹	۲/۴

جدول ۴. مقادیر تبخیر تعرق پتانسیل بدست آمده از معادله پنمن،مانتیت با استفاده از داده های مشاهداتی برای حوضه کرخه (میلیمتر در روز)

ماه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
تبخیر تعرق پتانسیل	۱/۵	۱/۶	۳/۰	۳/۹	۵/۴	۷/۸	۸/۴	۷/۸	۶/۳	۳/۸	۲/۱	۱/۵

جدول ۵. مقادیر تبخیر تعرق پتانسیل حاصل از مدل WEAP با استفاده از داده های پایگاه اقلیمی CFSR (میلیمتر در ماه)

ماه	هویزه	کرمانشاه	هرسین	نهادند	ملایر
Jan	۶۱/۷	۲۷/۸	۲۹/۳	۲۲/۶	۲۰/۹
Feb	۸۴/۵	۳۶/۴	۳۸/۰	۳۰/۰	۲۸/۱
Mar	۱۴۲/۳	۶۷/۵	۶۹/۰	۵۵/۲	۵۰/۴
Apr	۲۰۰/۲	۱۰۵/۱	۱۰۸/۰	۸۹/۴	۸۴/۳
May	۲۶۶/۲	۱۴۷/۱	۱۴۹/۶	۱۲۷/۵	۱۱۸/۸
Jun	۳۱۱/۷	۱۸۵/۱	۱۹۱/۱	۱۶۱/۰	۱۴۳/۴
Jul	۳۲۷/۶	۲۰۲/۲	۲۱۴/۰	۱۸۰/۵	۱۵۸/۴
Aug	۲۹۴/۷	۱۸۸/۳	۱۹۸/۶	۱۶۷/۰	۱۴۴/۲
Sep	۲۲۸/۸	۱۳۶/۶	۱۴۳/۴	۱۲۰/۷	۱۰۵/۱
Oct	۱۶۲/۷	۸۵/۹	۸۹/۷	۷۶/۹	۶۸/۲
Nov	۹۶/۴	۴۵/۵	۴۷/۵	۴۱/۴	۳۷/۸
Dec	۶۳/۳	۳۰/۴	۳۱/۶	۲۶/۷	۲۴/۴

جدول ۶. مقادیر تبخیر تعرق پتانسیل حاصل از مدل WEAP با استفاده از داده های پایگاه اقلیمی CFSR برای حوضه کرخه (میلیمتر در روز)

ماه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
تبخیر تعرق پتانسیل	۱/۱	۱/۴	۲/۶	۳/۹	۵/۴	۶/۶	۷/۲	۶/۶	۴/۹	۳/۲	۱/۸	۱/۲

جدول ۷. مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل از مدل WEAP با استفاده از داده های پایگاه اقلیمی CRU (میلیمتر در ماه)

ماه	هویزه	سرآبله	اسلامآباد	شوش	کرمانشاه	کوهدشت	نهادند	پلدختر	روانسر	خرمآباد
Jan	۴۷/۰	۲۶/۸	۱۹/۲	۳۱/۸	۲۱/۲	۲۶/۷	۳۳/۳	۳۹/۸	۲۱/۴	۲۳/۷
Feb	۶۷/۹	۳۹/۲	۲۸/۱	۴۷/۵	۳۰/۵	۳۹/۳	۵۰/۴	۵۹/۸	۳۰/۸	۳۴/۳
Mar	۱۰۳/۵	۶۸/۱	۴۹/۹	۷۵/۵	۵۵/۵	۶۸/۰	۸۴/۲	۹۵/۹	۵۵/۶	۶۰/۸
Apr	۱۵۱/۳	۱۰۷/۲	۷۹/۲	۱۱۲/۳	۹۰/۰	۱۰۳/۰	۱۲۸/۸	۱۴۲/۶	۹۲/۰	۹۴/۲
May	۲۰۸/۲	۱۴۵/۶	۱۰۷/۴	۱۵۵/۹	۱۲۱/۲	۱۳۷/۹	۱۶۵/۹	۱۸۹/۱	۱۲۶/۲	۱۲۵/۷
Jun	۲۶۲/۵	۱۹۰/۴	۱۳۹/۸	۱۸۴/۴	۱۵۹/۵	۱۷۲/۵	۱۹۴/۴	۲۲۳/۶	۱۶۳/۸	۱۵۵/۲
Jul	۳۷۵/۴	۲۱۰/۹	۱۵۴/۸	۱۸۰/۴	۱۷۹/۷	۱۸۹/۱	۲۰۵/۴	۲۲۷/۸	۱۸۳/۴	۱۶۷/۱
Aug	۲۵۳/۰	۱۹۱/۸	۱۴۰/۲	۱۶۵/۰	۱۶۴/۱	۱۷۲/۴	۱۸۷/۰	۲۰۸/۶	۱۶۷/۷	۱۵۱/۳
Sep	۲۰۷/۰	۱۴۴/۱	۱۰۶/۱	۱۲۹/۸	۱۲۲/۷	۱۳۱/۱	۱۴۲/۴	۱۶۵/۱	۱۲۳/۴	۱۱۶/۵
Oct	۱۳۲/۴	۸۹/۲	۶۵/۰	۸۲/۸	۷۳/۶	۸۳/۰	۹۵/۳	۱۰۸/۰	۷۴/۹	۷۱/۱
Nov	۷۶/۶	۴۶/۱	۳۳/۲	۴۶/۹	۳۷/۷	۴۳/۵	۵۱/۵	۶۰/۲	۳۷/۳	۳۸/۱
Dec	۴۷/۷	۲۷/۸	۲۰/۲	۳۰/۵	۲۲/۹	۲۷/۶	۳۳/۰	۳۹/۳	۲۲/۴	۲۴/۳

جدول ۸. مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل از مدل WEAP با استفاده از داده های پایگاه اقلیمی CRU برای حوضه کرخه (میلیمتر در روز)

ماه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
تبخیر و تعرق پتانسیل	۰/۹۷	۱/۴۳	۲/۳۹	۳/۶۷	۴/۹۴	۶/۱۵	۶/۵۸	۶/۰۰	۴/۶۳	۲/۹۲	۱/۵۷	۰/۹۹

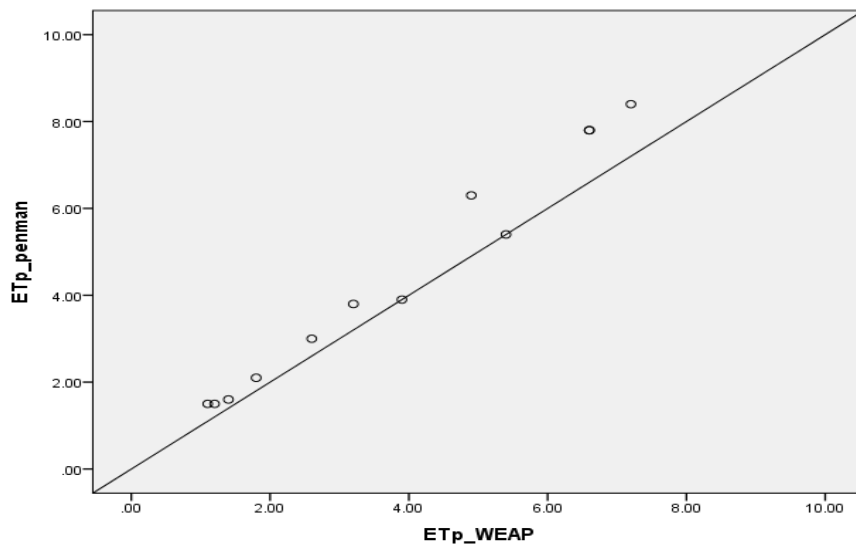
جدول ۹. مقایسات آماری تبخیر و تعرق های پتانسیل خروجی از مدل WEAP با تبخیر و تعرق پتانسیل مشاهداتی برای حوضه کرخه

پایگاه اقلیمی	RMSE ( $\frac{\text{میلیمتر}}{\text{روز}}$ )	R <sup>2</sup>	NSE
CFSR	۰/۷۶	۰/۹۸	۰/۸۷
CRU	۱/۰۸	۰/۹۷	۰/۷

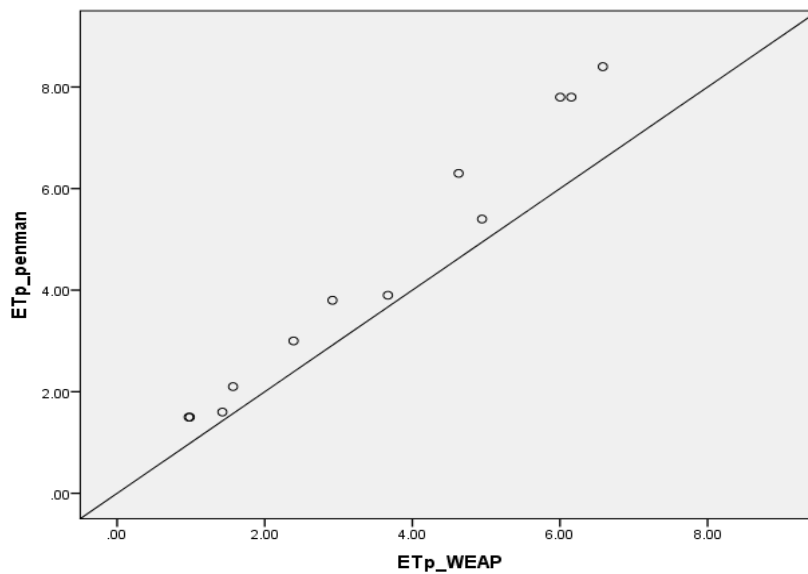
و نیمه خشک از پایگاه داده CRU TS4.05 بدست آوردند. همانطور که در جدول ۹ مشهود است، طبق تحلیل های آماری و همچنین اشکال ۷ و ۸ در مقایسه حوضه ای میزان تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از داده های پایگاه اقلیمی CFSR در مدل WEAP بیشترین تشابه و نزدیکی را نسبت به پایگاه اقلیمی CRU با تبخیر و تعرق پتانسیل مشاهداتی داشت.

در اشکال ۷ و ۸ محور افقی مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل خروجی از مدل WEAP با داده های هر یک از پایگاه های اقلیمی و محور عمودی تبخیر و تعرق پتانسیل با داده های مشاهداتی از معادله پنمن-مانتیث است. مقادیر میانگین ماهانه بدست آمده از مدل WEAP با تقسیم بر تعداد روزهای ماه

اقلیمی CFSR به عنوان جایگزینی برای داده های ایستگاه های هواشناسی برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_0$ ) فصلی برای هفت منطقه مختلف آب و هوایی ترکیه بررسی کردند. محاسبات  $ET_0$  برای سال های ۱۹۸۷-۲۰۱۷ با داده های ایستگاه هواشناسی در ترکیه مقایسه شد. نتایج نشان داد که توانایی تخمین  $ET_0$  پایگاه CFSR برای منطقه مورد مطالعه رضایت بخش است. علاوه بر این، داده های پایگاه CFSR تمایل دارند داده های مشاهداتی را به ویژه در مناطق جنوبی و غربی بیش از حد برآورد کنند. قلعه نی و شرفی در سال ۱۴۰۱ نتایج مطلوبی را برای برآورد متغیرهایی مانند بارش در اقلیم های نیمه مرطوب و مرطوب از پایگاه داده ERA5 و برای متغیر تبخیر و تعرق پتانسیل در اقلیم های فراخشک، خشک



شکل ۷. مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل خروجی از مدل WEAP با داده های پایگاه اقلیمی CFSR با تبخیر و تعرق پتانسیل مشاهداتی



شکل ۸. مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل خروجی از مدل WEAP با داده های پایگاه اقلیمی CRU با تبخیر و تعرق پتانسیل مشاهداتی

پایین تر بودن پراکندگی نقاط نسبت به خط نیمساز نشان از بالاتر بودن مقادیر محاسبه شده از مدل WEAP است و همچنین اگر پراکندگی نقاط بالاتر از خط نیمساز باشد نشان از بیش برآوردی معادله پنمن-مانتیت با داده های مشاهداتی می باشد که در هر دو نمودار بیش برآوردی معادله پنمن-مانتیت با داده های مشاهداتی نسبت به مدل WEAP

به صورت متوسط روزانه در ماه تبدیل شده است. هر نقطه در نمودارها نماینده یک ماه خاص می باشد. برای هر نمودار خط نیمساز رسم شده است که نزدیکی نقاط به خط نیمساز نشان دهنده نزدیکی هریک از اعداد بدست آمده از مدل WEAP و معادله پنمن-مانتیت است (اگر دو مقدار بدست آمده دقیقاً با یکدیگر برابر باشند نقطه بر روی خط نیمساز قرار می گیرد).

داده های پایگاه های اقلیمی مشهود است.

### جمع بندی

طبق اعداد بدست آمده از تحلیل های آماری و پهنه بندی اقلیمی دوما رتن گسترش یافته عملکرد مطلوب داده های پایگاه های اقلیمی CFSR و CRU در مناطقی با اقلیم مدیترانه ای معتدل، خشک بیابانی معتدل و نیمه خشک معتدل در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل مشهود بود. همچنین طبق اعداد بدست آمده از شاخص ناش ساتکلیف خروجی های مدل WEAP که مبتنی بر داده های پایگاه های اقلیمی CRU و CFSR هستند، می توانند در صورت فقدان داده های مشاهداتی در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل مورد استفاده قرار گیرند اما داده های پایگاه اقلیمی CFSR تشابه بیشتری به داده های مشاهداتی داشتند. طبق نمودارهای بدست آمده از این تحقیق می توان نتیجه گرفت مدل WEAP در محاسبه تبخیر و تعرق با داده های پایگاه های اقلیمی تمایل به کم برآوردی نسبت به معادله پنمن-مانتیت با داده های مشاهداتی دارد. در برآورد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل نیز می توان از روش رطوبت خاک که مشخصات کاربری اراضی و نوع خاک را در پروسه شبیه سازی دخالت می دهد به جای روابطی مانند پنمن-مانتیت استفاده کرد.

### مراجع

- اخوان، سمیرا، دلوار، و نسرین. (۱۳۹۵). ارزیابی دقت داده های CFSR و مدل LARS-WG در شبیه سازی پارامترهای اقلیمی استان چهارمحال و بختیاری. *بزهش های جغرافیای طبیعی*، ۴۸(۲)، ۳۳۴-۳۲۱.
- خلیلی، علی، بذرافشان جواد، چراغعلی زاده، مجید (۱۴۰۰) بررسی تطبیقی نقشه های اقلیمی ایران در طبقه بندی دمارتن گسترش داده شده و کاربست روش برای پهنه بندی اقلیم جهان. *نشریه هواشناسی کشاورزی*، ۱۰(۱)، ۱۶-۳.
- محمدی قلعه نی، مهدی، شرفی، و سعید. (۱۴۰۱). ارزیابی دقت پایگاه داده های ERA5 و CRU TS4.05 برای متغیرهای بارش، دما و تبخیر و تعرق پتانسیل در اقلیم های مختلف ایران. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۶(۵)، ۸۷۹-۸۹۰.
- مصباح زاده، طیبه، و سلیمانی ساردو، و فرشاد. (۱۳۹۷). بررسی روند زمانی خشکسالی هیدرولوژیک و هواشناسی در حوزه آبخیز کرخه. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۲(۴۰)، ۱۰۵-۱۱۴.
- Alemayehu, T., Van Griensven, A., & Bauwens, W. (2016). Evaluating CFSR and WATCH data as input to SWAT for the estimation of the potential evapotranspiration in a Data-Scarce Eastern-African catchment. *Journal of Hydrologic Engineering*, 21(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0001305](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0001305)
- Allen, R. G. et al. (1998) Crop evapotranspiration -guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, ISBN:92-5-104219-5
- Gao, G., Chen, D., Xu, C., & Simelton, E. (2007). Trend of estimated actual evapotranspiration over China during 1960–2002. *Journal of Geophysical Research*, 112(D11). <https://doi.org/10.1029/2006jd008010>
- Goodarzi, E. (2018). Acquaintance with CRU, NCEP CFSR and Esfazari climate databases, <https://waterse.ir/cru-ncep-asafzari>, accessed 11 September 2022 (in Persian)
- Harris, I., Jones, P., Osborn, T., & Lister, D. (2013). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34(3), 623–642. <https://doi.org/10.1002/joc.3711>
- Irmak, A., & Irmak, S. (2008). Reference and crop evapotranspiration in South Central Nebraska. II: Measurement and estimation of actual evapotranspiration for corn. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering- asce*, 134(6), 700–715. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2008\)134:6\(700](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2008)134:6(700)
- Irvem, A., & Ozbuldu, M. (2023). Evaluation of the performance of CFSR reanalysis data set for estimating reference evapotranspiration (ET0) in Turkey. *Italian Journal of Agrometeorology*, (2), 49–61. <https://doi.org/10.36253/ijam-1325>
- Katipoğlu, O. M., Acar, R., & Şenocak, S. (2021). Spatio-temporal analysis of meteorological and hydrological droughts in the Euphrates Basin, Turkey. *Water Science & Technology: Water Supply*, 21(4), 1657–1673. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.019>
- Kult, J. M., Choi, W., & Choi, J. (2014). Sensitivity of the Snowmelt Runoff Model to snow covered area and temperature inputs. *Applied Geography*, 55, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.08.011>
- Maidment, D. R. (1993). *Handbook of Hydrology* (p. 1142). University of Texas.
- Mutti, P. R., Dubreuil, V., Bezerra, B. G., Arvor, D., De Oliveira, C. P., & Silva, C. M. S. E. (2020). Assessment of Gridded CRU TS Data for Long-Term Climatic Water Balance Monitoring over the São Francisco Watershed, Brazil. *Atmosphere*, 11(11), 1207. <https://doi.org/10.3390/atmos11111207>
- Sieber, J. (2015). *Water Evaluation and Planning System*. <https://www.weap21.org>, accessed 14 July 2023
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A. (2005). WEAP21—A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model. *Water International*, 30(4), 487–500. <https://doi.org/10.1080/02508060508691893>

## Evaluation of using different climatic datasets for estimation of evapotranspiration by WEAP model

Mahdi Vaziri<sup>1</sup>, Dr. Nozar Ghahreman<sup>2</sup>, Dr. Majid Kholghi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> MSc Graduate of Agrometeorology, University of Tehran, Daneshkade St., Karaj Iran

<sup>2</sup> Associate Professor Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran Daneshkade St, Karaj, Iran.

<sup>3</sup> Professor Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran Daneshkade St, Karaj, Iran.

\*Corresponding Author Email: [nghahreman@ut.ac.ir](mailto:nghahreman@ut.ac.ir)

Received: 14 March 2022, accepted: 14 Jun 2022

### ABSTRACT

The evapotranspiration as a major component of hydrological cycle, it is quite important in agricultural water management and cropping pattern. The aim of this study is to assess two different climate datasets namely CRU and CFSR for estimation of potential evapotranspiration using WEAP model, in Karkheh basin southwest of Iran. Potential evapotranspiration estimated by Penman Monteith equation using observed data were considered as the evaluation criteria for WEAP model outputs. Potential evapotranspiration in Penman-Monteith method with observed data, was used as a criterion for evaluating the estimated values of the WEAP model. Comparisons were made using statistical indices of RMSE, R<sup>2</sup> and NSE between the potential evapotranspiration simulated by the WEAP model with two climate datasets CFSR and CRU and those obtained by PM equation. The corresponding values were 0.76, 0.98, 0.87, 1.08, 0.97 and 0.7 respectively, which shows that model generates better ET estimations by using the CFSR data. Comparison between study stations using RMSE, R<sup>2</sup> and NSE, revealed that using the CFSR dataset in Howeyzeh station with metrics of 0.44, 0.98 and 0.97, respectively and CRU data in Howeyzeh station with corresponding values of 1.19, 0.99 and 0.80, provided best model estimations. Considering the climate of station based on extended de-Martone classification, the accuracy of CRU and CFSR datasets in estimation of potential evapotranspiration were acceptable in temperate Mediterranean, moderate semi-arid and temperate arid desert climates in the study basin.

**Keywords:** *Evapotranspiration, Karkheh Basin, Climatic Data, WEAP, CFSR, CRU*

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Vaziri, M.; Ghahreman, N.; Kholghi, M. (2022). Evaluation of using different climatic datasets for estimation of evapotranspiration by WEAP model. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 5(2): 158-171.

#### COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JM AS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

